

华东地区典型畜禽养殖场重金属产污系数研究

钱晓雍, 王振旗, 沈根祥, 赵庆节, 徐昶, 付侃, 汤正泽

引用本文:

钱晓雍, 王振旗, 沈根祥, 等. 华东地区典型畜禽养殖场重金属产污系数研究[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(1): 201-206.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11654/jaes.2019-0882>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

宜昌近郊污水灌溉区水芹重金属污染状况及健康风险评价

张海锋, 李晓玲, 罗玉红, 戴泽龙, 胥焘, 黄应平

农业环境科学学报. 2015, 34(8): 1470-1477 <https://doi.org/10.11654/jaes.2015.08.006>

奶牛场粪污制备卧床垫料过程中物料性质及污染物含量的周年变化规律

田雪力, 翟中葳, 丁飞飞, 杨凤霞, 张克强

农业环境科学学报. 2018, 37(3): 552-558 <https://doi.org/10.11654/jaes.2018-0158>

黄淮海地区商品鸡饲料中重金属含量特征研究

迪娜·吐尔生江, 贾宏涛, 王农, 闫翠侠, 罗文文, 纪艺凝, 孙约兵

农业环境科学学报. 2018, 37(11): 2603-2612 <https://doi.org/10.11654/jaes.2018-0885>

有机酸对猪粪中重金属的浸提

杜丽琼, 刘东方, 黄文力, 魏孝承, 杨丹

农业环境科学学报. 2017, 36(10): 2121-2128 <https://doi.org/10.11654/jaes.2017-0545>

香菇中重金属含量风险分析及栽培基质对重金属累积的作用

刘哲, 王康, 穆虹宇, 庄坚, 李花粉

农业环境科学学报. 2019, 38(6): 1226-1232 <https://doi.org/10.11654/jaes.2018-1200>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

钱晓雍, 王振旗, 沈根祥, 等. 华东地区典型畜禽养殖场重金属产污系数研究[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(1): 201–206.

QIAN Xiao-yong, WANG Zhen-qi, SHEN Gen-xiang, et al. Pollutant generation coefficient of heavy metals from typical livestock and poultry farms in East China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2020, 39(1): 201–206.

华东地区典型畜禽养殖场重金属产污系数研究

钱晓雍, 王振旗, 沈根祥*, 赵庆节, 徐 昶, 付 侃, 汤正泽

(上海市环境科学研究院, 上海 200233)

摘 要:通过对华东地区生猪、奶牛、蛋鸡典型规模化养殖场四季粪污产生量及其重金属含量的测定,提出了基于各类畜禽养殖过程中不同阶段畜禽品种的常规性比例,以及粪污收集和处理利用代表性工艺的典型畜禽养殖场重金属产污系数。结果表明:生猪场砷、汞、铬、镉、铅、铜、锌、锰产污系数分别为1.28、0.005、23.8、0.11、2.74、243、416、277 $\text{mg} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{头}^{-1}$;奶牛场砷、汞、铬、镉、铅、铜、锌、锰产污系数分别为40.6、0.28、51.6、0.63、10.62、127、786、735 $\text{mg} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{头}^{-1}$;蛋鸡场砷、汞、铬、镉、铅、铜、锌、锰产污系数分别为0.046、0.000 6、1.11、0.016、0.18、2.00、16.1、21.0 $\text{mg} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{羽}^{-1}$ 。生猪场、奶牛场重金属产污系数总体表现为秋冬季相对较高、春夏季相对较低;蛋鸡场重金属产污系数为冬春季相对较高、夏秋季相对较低。

关键词: 畜禽养殖;粪便;污水;重金属;产污系数

中图分类号:X713 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2020)01-0201-06 doi:10.11654/jaes.2019-0882

Pollutant generation coefficient of heavy metals from typical livestock and poultry farms in East China

QIAN Xiao-yong, WANG Zhen-qi, SHEN Gen-xiang*, ZHAO Qing-jie, XU Chang, FU Kan, TANG Zheng-ze

(Shanghai Academy of Environmental Sciences, Shanghai 200233, China)

Abstract: The pollution risk posed by heavy metals from animal manure should not be ignored, following the encouragement of resource utilization of animal manure nation-widely. This study proposes the pollutant generation coefficients of heavy metals from typical livestock and poultry farms with conventional proportions of different breeding stages and representative methods of animal manure treatment by monitoring the production and heavy metal content of animal manure from typical swine, dairy, and layer farms in different seasons. The results indicated that the pollutant generation coefficients of As, Hg, Cr, Cd, Pb, Cu, Zn, and Mn of the swine farm were 1.28, 0.005, 23.8, 0.11, 2.74, 243, 416 $\text{mg} \cdot \text{d}^{-1}$, and 277 $\text{mg} \cdot \text{d}^{-1}$, respectively, for one pig. The pollutant generation coefficients of As, Hg, Cr, Cd, Pb, Cu, Zn, and Mn of the dairy farm were 40.6, 0.28, 51.6, 0.63, 10.62, 127, 786 $\text{mg} \cdot \text{d}^{-1}$, and 735 $\text{mg} \cdot \text{d}^{-1}$, respectively, for one dairy cow. The pollutant generation coefficients of As, Hg, Cr, Cd, Pb, Cu, Zn, and Mn of the layer farm were 0.046, 0.000 6, 1.11, 0.016, 0.18, 2.00, 16.1 $\text{mg} \cdot \text{d}^{-1}$, and 21.0 $\text{mg} \cdot \text{d}^{-1}$, respectively, for one layer. The pollutant generation coefficients of heavy metals were higher in autumn and winter, and lower in spring and summer for the swine and dairy farms, but were higher in winter and spring and lower in summer and autumn for the layer farm. These results provide basic data for controlling the risk of heavy metal pollution during land application of animal manure.

Keywords: animal husbandry; animal solid manure; animal liquid manure; heavy metal; pollutant generation coefficient

近年来,我国畜牧业持续稳定发展,规模化养殖水平显著提高,保障了肉蛋奶供给,但大量养殖废弃物没有得到有效处理利用,成为农村环境治理的一大

难题^[1]。“十二五”期间,规模化畜禽养殖场首次纳入全国主要水污染物总量减排范围,畜禽粪污资源化农业利用是主要鼓励模式^[2]。2017年,国务院办公厅印

收稿日期:2019-08-08 录用日期:2019-10-10

作者简介:钱晓雍(1981—),博士,高级工程师,从事农业农村生态环境保护研究。E-mail:qianxy@saes.sh.cn

*通信作者:沈根祥 E-mail:shengx@saes.sh.cn

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2014ZX07602004, 2017ZX07207002);上海市生态环境局重大科研项目(沪环科[2015]5号,沪环科[2016]2号)

Project supported: The Major Science and Technology Program for Water Pollution Control and Treatment (2014ZX07602004, 2017ZX07207002); The Major Scientific and Technology Program of Shanghai Municipal Bureau of Ecology and Environment (2015–5, 2016–2)

发《关于加快推进畜禽养殖废弃物资源化利用的意见》,要求加快推进畜禽养殖废弃物资源化利用,促进农业可持续发展,开启了全国范围内全面推进畜禽粪污资源化利用的帷幕^[3]。畜禽粪污中丰富的有机质、氮、磷等养分在被作物利用的同时,集约化、规模化畜禽养殖过程中广泛应用于饲料添加剂的重金属元素(如铜、锌、砷等)以及饲料带有的重金属元素(如铅、铬等),大部分未被畜禽利用而随畜禽粪便有机肥进入农田土壤,长期施用会造成农田土壤重金属累积问题^[4]。但是,目前畜禽养殖业产排污系数体系主要侧重于化学需氧量(COD)、氨氮、总氮、总磷等常规水污染物,对铜、锌、砷、铬等重金属的污染问题尚未重点关注^[5-6]。目前国内已有的畜禽粪污重金属相关报道也更多地侧重于铜、锌两种重金属元素的产污系数,且基本采用单个品种进行定位监测的试验方法,未对其他重金属元素进行系统研究,也未系统考虑单个畜禽养殖场总体产污的实际情况^[7-12];国外也有美国、日本、丹麦等国制定了畜禽养殖业相关产排污系数体系,涉及个别重金属的产污系数^[13-15]。因此,在当前国内大力推广畜禽粪污资源化农业利用的形势下,有必要对畜禽养殖场粪污重金属总体产生状况进行系统研究,以更好地保护农田土壤生态环境。

本研究以华东地区不同畜禽种类的典型规模化养殖场为研究对象,选择砷、汞、铬、镉、铅、铜、锌、锰等8种重金属作为监测指标,研究了不同季节畜禽粪污重金属产生规律,探索了典型畜禽养殖场重金属产污系数,为农业污染源调查监测、畜禽粪污资源化安全利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究对象

本研究选择了上海地区生猪、奶牛、蛋鸡3个典型

规模化养殖场作为研究对象,其养殖品种比例具有一定的代表性^[16-18]。其中,生猪场年出栏肉猪约15 000头,存栏母猪约800头,采用干清粪工艺,固体粪好氧堆肥生产有机肥,污水厌氧发酵后还田利用;奶牛场存栏奶牛约1400头,包含泌乳牛900头、育成牛300头、犊牛200头,采用干清粪工艺,固体粪厌氧发酵后生产有机肥,污水厌氧发酵后还田利用;蛋鸡场存栏蛋鸡约50 000羽,包括育雏育成鸡15 000羽、产蛋鸡35 000羽,采用干清粪工艺,粪便好氧堆肥生产有机肥。此外,上海地区春夏秋冬四季大致时间分别为3月—5月、6月—8月、9月—11月、12月—次年2月。典型规模化畜禽养殖场基本情况见表1。

1.2 采样方法

考虑到不同季节动物的饲养条件和饲料不同,在春夏秋冬四个季节连续3 d对典型畜禽养殖场粪便和污水的产生量进行计量,并对其重金属含量进行采样监测。固体粪在堆粪场采集5个点位充分混合,用四分法取2.0 kg左右,当日送往检测实验室进行测定;污水在进入污水厌氧池前采集5个样品充分混合,取2.0 L左右,当日送往检测实验室进行测定。

1.3 分析方法

固体粪中砷、汞采用原子荧光法测定,铬、铜、锌采用火焰原子吸收分光光度法测定,镉、铅采用石墨炉原子吸收分光光度法测定,锰采用电感耦合等离子体质谱法测定;污水中砷、铬、镉、铅、铜、锌、锰采用电感耦合等离子体质谱法测定,汞采用原子荧光法测定。

1.4 产污系数计算方法

畜禽养殖业COD、氨氮等污染物的产污系数,是指在典型的正常生产和管理条件下,一定时间内单个畜禽所产生的原始污染量。考虑到畜禽的产污系数与动物品种、饲养阶段、饲料特性等相关,为了便于计量典型畜禽养殖场重金属产污系数,本文以天为单

表1 典型规模化畜禽养殖场养殖量基本情况
Table 1 Basic information of typical livestock and poultry farms

畜禽类型 Livestock and poultry type		养殖量 Breeding amount				畜禽品种 Livestock and poultry breed	主要饲料 Main forage
		春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter		
生猪/头	存栏母猪	803	798	795	812	杜洛克(美国)	玉米、豆粕、麸皮等
	出栏肉猪	3700	3500	3800	4100		
奶牛/头	存栏泌乳牛	896	899	905	905	荷斯坦(美国)	苜蓿草、燕麦草、青贮玉米、甜菜渣等
	存栏育成牛	307	306	304	301		
	存栏犊牛	204	202	206	205		
	存栏犊牛	204	202	206	205		
蛋鸡/羽	存栏育成鸡	16 000	15 000	15 000	14 000	京红1号(中国)	复合预混饲料
	存栏产蛋鸡	34 000	35 000	35 000	36 000		

位,针对在各类饲养阶段畜禽比例、饲料类型、养殖模式、清粪方式等方面都具有代表性的养殖场,分别计算不同动物(生猪、奶牛、蛋鸡)单个畜禽(存栏)的重金属产污系数,而不计算同一个畜禽养殖场中不同饲养阶段的产污系数。具体计算公式如下:

$$P_i = QS \times CS_i + QL \times CL_i$$

式中: P_i 为每头(羽)畜禽的重金属 i 产污系数, $\text{mg} \cdot \text{d}^{-1}$; QS 为每头(羽)固体粪产生量, $\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$; CS_i 为固体粪中重金属 i 的含量, $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; QL 为每头(羽)污水产生量, $\text{L} \cdot \text{d}^{-1}$; CL_i 为污水中重金属 i 的含量, $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

1.5 数据分析方法

采用Excel 2016和SPSS 20.0软件包进行数据统计与方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同季节典型畜禽养殖场固体粪产生量及重金属含量

各类典型畜禽养殖场不同季节固体粪产生量及重金属含量测定结果如表2所示。生猪场固体粪四季平均产生量为 $1.82 \text{ kg} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{头}^{-1}$,砷、汞、铬、镉、铅、铜、锌、锰8种重金属平均含量分别为2.10、0.010、49.8、0.21、5.75、508、857、584 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;奶牛场固体粪四季平均产生量为 $21.1 \text{ kg} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{头}^{-1}$,砷、汞、铬、镉、铅、铜、锌、锰8种重金属平均含量分别为10.5、0.079、12.6、0.18、2.82、34.3、206、147 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;蛋鸡场固体粪四季平均产生量为 $0.162 \text{ kg} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{羽}^{-1}$,砷、汞、铬、镉、铅、铜、锌、锰8种重金属平均含量分别为1.18、0.017、

29.6、0.41、4.58、55.5、444、588 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

从不同季节固体粪重金属含量分析,生猪场固体粪砷、汞、铬、锌含量冬季最高、夏季最低,镉含量秋季最高、夏季最低,铅、锰含量冬季最高、春季最低,铜含量冬季最高、秋季最低;奶牛场固体粪砷、镉含量冬季最高、夏季最低,汞含量春季最高、夏季最低,铬、铅、锌含量秋季最高、夏季最低,铜含量秋季最高、冬季最低,锰含量秋季最高、春季最低;蛋鸡场固体粪砷、镉含量冬季最高、秋季最低,汞含量春季最高、冬季最低,铬含量秋季最高、夏季最低,铅含量冬季最高、夏季最低,铜、锌、锰含量秋季最高、春季最低。

从不同畜禽固体粪重金属含量分析,固体粪砷含量奶牛场显著高于生猪场($P < 0.05$),生猪场又显著高于蛋鸡场($P < 0.05$);固体粪镉含量蛋鸡场显著高于生猪场($P < 0.05$),生猪场又显著高于奶牛场($P < 0.05$);固体粪铜含量生猪场显著高于奶牛场和蛋鸡场($P < 0.05$);固体粪锌含量生猪场显著高于蛋鸡场($P < 0.05$),蛋鸡场又显著高于奶牛场($P < 0.05$);固体粪中其余重金属含量无显著差异($P > 0.05$)。

2.2 不同季节典型畜禽养殖场污水产生量及重金属含量

各类典型畜禽养殖场不同季节污水产生量及重金属含量测定结果如表3所示(蛋鸡场基本无污水产生,不计量)。生猪场污水四季平均产生量为 $4.78 \text{ L} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{头}^{-1}$,砷、汞、铬、镉、铅、铜、锌、锰8种重金属平均含量分别为49.3、ND、36.2、ND、3.50、23.2、164、26.8 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$;奶牛场污水四季平均产生量为 $25.9 \text{ L} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{头}^{-1}$,砷、

表2 不同季节典型畜禽养殖场固体粪产生量及重金属含量

Table 2 Production amount and heavy metal content of animal solid manure from typical livestock and poultry farms in different seasons

畜禽类型 Livestock and poultry type	季节 Season	单位畜禽固体粪产生量 Animal solid manure production amount/ $\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$	含水率 Moisture/%	重金属含量 Heavy metal content/ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, dry matter							
				砷 As	汞 Hg	铬 Cr	镉 Cd	铅 Pb	铜 Cu	锌 Zn	锰 Mn
生猪	春	1.94	70.21	1.98	0.010	23.4	0.22	2.30	435	590	310
	夏	1.84	72.32	1.67	0.004	22.0	0.14	2.65	377	487	354
	秋	1.98	71.54	2.22	0.010	49.6	0.26	5.79	202	859	421
	冬	1.52	72.57	2.62	0.015	116.0	0.24	13.70	1150	1630	1410
奶牛	春	21.1	83.36	10.80	0.255	8.85	0.13	3.02	33.5	173	107
	夏	20.6	84.59	0.50	0.008	2.91	0.10	1.89	31.7	138	111
	秋	21.4	80.11	12.00	0.025	35.30	0.15	3.94	48.0	367	188
	冬	21.3	83.53	18.5	0.025	3.77	0.32	2.45	24.5	150	184
蛋鸡	春	0.150	74.75	1.12	0.025	7.91	0.32	1.95	20.6	205	200
	夏	0.197	81.83	0.99	0.023	6.52	0.38	1.61	56.5	357	446
	秋	0.182	78.66	0.09	0.013	52.40	0.29	5.15	82.0	761	1230
	冬	0.118	75.24	2.23	0.010	46.30	0.61	8.47	65.9	467	527

汞、铬、镉、铅、铜、锌、锰8种重金属平均含量分别为67.8、ND、25.4、ND、4.80、14.2、56.7、39.8 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

从不同季节污水中重金属含量分析,生猪场污水砷、铅、铜含量冬季最高、夏季最低,铬含量冬季最高、秋季最低,锌、锰含量四季基本稳定;奶牛场污水砷含量冬季最高、秋季最低,铬、铜含量春季最高、夏季最低,铅含量春季最高、冬季最低,锌含量春季最高、秋季最低,锰含量春季最高、冬季最低。

从不同畜禽污水中重金属含量分析,污水铜、锌含量生猪场显著高于奶牛场($P<0.05$);其余重金属含量无显著差异($P>0.05$)。

2.3 不同季节典型畜禽养殖场重金属产污系数

通过4个季节的测定,按照产污系数计算公式,获得的平均结果如表4所示。从表中可以看出,生猪

场砷、汞、铬、镉、铅、铜、锌、锰8种重金属平均产污系数分别为1.28、0.005、23.8、0.11、2.74、243、416、277 $\text{mg}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{头}^{-1}$;奶牛场砷、汞、铬、镉、铅、铜、锌、锰8种重金属平均产污系数分别为40.6、0.28、51.6、0.63、10.62、127、786、735 $\text{mg}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{头}^{-1}$;蛋鸡场砷、汞、铬、镉、铅、铜、锌、锰8种重金属平均产污系数分别为0.046、0.000 6、1.11、0.016、0.18、2.00、16.1、21.0 $\text{mg}\cdot\text{d}^{-1}\cdot\text{羽}^{-1}$ 。从结果分析,生猪场、奶牛场重金属产污系数总体为秋冬季相对较高、春夏季相对较低;蛋鸡场重金属产污系数为冬春季相对较高、夏秋季相对较低。

3 讨论

本文通过对华东地区生猪、奶牛、蛋鸡典型规模化养殖场粪污重金属产生情况的测算,提出基于生

表3 不同季节典型畜禽养殖场污水产生量及重金属含量

Table 3 Production amount and heavy metal content of animal liquid manure from typical livestock and poultry farms in different seasons

畜禽类型 Livestock and poultry type	季节 Season	单位畜禽污水产生量 Animal liquid manure production amount/ $\text{L}\cdot\text{d}^{-1}$	重金属含量 Heavy metal content/ $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$							
			砷 As	汞 Hg	铬 Cr	镉 Cd	铅 Pb	铜 Cu	锌 Zn	锰 Mn
生猪	春	4.39	35.3	ND	39.0	ND	4.60	26.0	162.0	26.0
	夏	5.96	32.2	ND	32.4	ND	2.10	20.0	163.0	26.3
	秋	4.87	62.0	ND	30.0	ND	2.50	21.0	166.0	27.0
	冬	3.89	74.0	ND	46.7	ND	5.60	27.6	165.0	28.0
奶牛	春	24.6	75.9	ND	71.0	ND	13.30	21.2	93.9	68.9
	夏	38.3	42.4	ND	3.3	ND	3.21	9.0	47.0	50.0
	秋	22.2	36.3	ND	24.0	ND	2.00	13.0	19.7	16.0
	冬	18.4	148.0	ND	12.5	ND	ND	17.0	72.0	8.3

注:ND.未检出。
Note:ND. Not detected.

表4 典型畜禽养殖场单位畜禽重金属产污系数

Table 4 Pollutant generation coefficient of heavy metals of typical livestock and poultry farms

畜禽类型 Livestock and poultry type	季节 Season	重金属产污系数 Pollutant generation coefficient of heavy metal/ $\text{mg}\cdot\text{d}^{-1}$							
		砷 As	汞 Hg	铬 Cr	镉 Cd	铅 Pb	铜 Cu	锌 Zn	锰 Mn
生猪	春	1.29	0.006	13.7	0.13	1.35	251	341	179
	夏	1.06	0.002	11.4	0.07	1.36	192	249	181
	秋	1.55	0.006	28.1	0.14	3.28	114	485	237
	冬	1.24	0.005	42.1	0.09	4.97	416	591	511
奶牛	春	39.60	0.896	32.8	0.47	10.90	118	611	533
	夏	3.21	0.026	9.4	0.31	6.12	101	441	541
	秋	51.80	0.106	151.0	0.63	16.80	204	1564	948
	冬	67.80	0.088	13.5	1.11	8.60	86	527	919
蛋鸡	春	0.051	0.001 2	0.36	0.015	0.09	0.95	9.44	9.21
	夏	0.021	0.000 5	0.14	0.008	0.03	1.21	7.65	9.57
	秋	0.003	0.000 4	1.68	0.009	0.16	2.63	24.40	39.40
	冬	0.109	0.000 5	2.26	0.030	0.41	3.21	22.80	25.70

猪、奶牛、蛋鸡养殖过程中不同阶段畜禽品种常规性比例以及粪污收集和处理利用代表性工艺的典型畜禽养殖场重金属产污系数。生猪场铜、锌产污系数总体略高于董红敏等^[7]、汪开英等^[8]、何志平等^[9]按照华北、华东、西南地区生猪原始粪便和尿液测算的产污系数,可能与不同区域生猪养殖方式和摄入饲料种类差异有关,也可能与生猪养殖过程中消毒、清洗等其他投入品使用有关;奶牛场铜、锌产污系数总体与栾冬梅等^[10]按照东北地区奶牛原始粪便和尿液测算的产污系数相当,略低于张振伟等^[11-12]按照西北地区育成牛和泌乳牛原始粪便和尿液测算的产污系数,可能与不同区域奶牛养殖方式和摄入饲料种类差异有关。国内缺乏砷、汞、镉、铬、铅、锰产污系数相关系统研究资料,但与采用美国农业生物工程师学会(ASABE)动物粪便产生和特性参数标准^[13]进行测算的结果相比,生猪、奶牛和蛋鸡镉、铅产污系数低于ASABE的系数,生猪铜、锌、锰产污系数高于ASABE的系数,奶牛、蛋鸡铜、锌、锰产污系数总体与ASABE系数相当。

本文以生猪、奶牛、蛋鸡的单个畜禽养殖场为整体进行考虑,虽然无法获得畜禽养殖场内不同阶段畜禽品种的重金属产污系数,但通过对整个畜禽养殖场粪污重金属产生状况的系统研究,囊括了畜禽养殖生产和废弃物处理过程中非来源于畜禽粪污的重金属带入情况以及粪污收集状况,在此基础上,结合不同阶段畜禽品种重金属产生情况的相关研究,可以更加系统、完整地掌握不同类型畜禽养殖场重金属的产生情况,为畜禽养殖业投入品的综合管控和畜禽粪污资源化利用的风险防控提供基础依据。

但是,由于本文研究过程是基于畜禽养殖过程中不同阶段畜禽品种常规性比例以及粪污收集和处理代表性工艺,而各类畜禽养殖场实际养殖比例、粪污收集和处理利用工艺千差万别,同时本文仅采集了4个季度中个别天数的畜禽粪污进行监测,尚未针对畜禽生长过程中不同时期含重金属饲料摄入情况进行针对性采样监测,后续应考虑对不同养殖比例、不同粪污收集和处理工艺、不同饲料投入方式的畜禽养殖场开展重金属产污系数研究,从而更好地完善畜禽养殖业重金属产污系数体系。

4 结论

(1)通过对华东地区生猪、奶牛、蛋鸡典型养殖场四季粪污产生量及其重金属含量的测定,获得了典型畜禽养殖场的重金属产污系数:生猪场砷、汞、铬、镉、

铅、铜、锌、锰产污系数分别为1.28、0.005、23.8、0.11、2.74、243、416、277 $\text{mg} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{头}^{-1}$;奶牛场砷、汞、铬、镉、铅、铜、锌、锰产污系数分别为40.6、0.28、51.6、0.63、10.62、127、786、735 $\text{mg} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{头}^{-1}$;蛋鸡场砷、汞、铬、镉、铅、铜、锌、锰产污系数分别为0.046、0.000 6、1.11、0.016、0.18、2.00、16.1、21.0 $\text{mg} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{羽}^{-1}$ 。

(2)研究采用的产污系数主要针对各类畜禽养殖过程中不同阶段畜禽品种常规性比例以及粪污收集和处理利用代表性工艺,可以为畜禽粪污资源化利用中重金属污染风险管控提供基础数据,后续可通过进一步研究继续完善畜禽养殖业重金属产污系数体系。

参考文献:

- [1] 吴根义, 廖新伟, 贺德春, 等. 我国畜禽养殖污染防治现状及对策[J]. 农业环境科学学报, 2014, 33(7): 1261-1264.
WU Gen-yi, LIAO Xin-di, HE De-chun, et al. Current situation and countermeasures of livestock industry pollution control in China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2014, 33(7): 1261-1264.
- [2] 吴根义, 宋李思莹, 孙浩, 等. “十二五”时期农业源污染物总量减排分析[J]. 环境保护, 2015, 43(21): 28-30.
WU Gen-yi, SONG Li-si-ying, SUN Hao, et al. The analysis of agricultural source pollution emission reduction in the “12th Five-Year Plan” [J]. *Environmental Protection*, 2015, 43(21): 28-30.
- [3] 田慎重, 郭洪海, 姚利, 等. 中国种养业废弃物肥料化利用发展分析[J]. 农业工程学报, 2018, 34(增刊): 123-131.
TIAN Shen-zhong, GUO Hong-hai, YAO Li, et al. Development analysis for fertilizer utilization of agricultural planting and animal wastes in China[J]. *Transactions of the CSAE*, 2018, 34(Suppl): 123-131.
- [4] Qian X Y, Wang Z Q, Shen G X, et al. Heavy metals accumulation in soil after 4 years of continuous land application of swine manure: A field-scale monitoring and modeling estimation[J]. *Chemosphere*, 2018, 210: 1029-1034.
- [5] 庄犁, 周慧平, 张龙江. 我国畜禽养殖业产排污系数研究进展[J]. 生态与农村环境学报, 2015, 31(5): 633-639.
ZHUANG Li, ZHOU Hui-ping, ZHANG Long-jiang. Advancement in research on pollutants producing and discharging coefficients of livestock and poultry breeding industry in China[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2015, 31(5): 633-639.
- [6] 王俊能, 许振成, 吴根义, 等. 畜禽养殖业产排污系数核算体系构建[J]. 中国环境监测, 2013, 29(2): 143-147.
WANG Jun-neng, XU Zhen-cheng, WU Gen-yi, et al. Construction of pollutants producing and discharging coefficient accounting system for livestock and poultry breeding industry[J]. *Environmental Monitoring in China*, 2013, 29(2): 143-147.
- [7] 董红敏, 朱志平, 黄宏坤, 等. 畜禽养殖业产污系数和排污系数计算方法[J]. 农业工程学报, 2011, 27(1): 303-308.
DONG Hong-min, ZHU Zhi-ping, HUANG Hong-kun, et al. Pollutant generation coefficient and discharge coefficient in animal production

- [J]. *Transactions of the CSAE*, 2011, 27(1):303-308.
- [8] 汪开英, 刘健, 陈小霞, 等. 浙江省畜禽业产排污测算与土地承载力分析[J]. *应用生态学报*, 2009, 20(12):3043-3048.
- WANG Kai-ying, LIU Jian, CHEN Xiao-xia, et al. Pollutant production and discharge from livestock and poultry industries and land carrying capacity in Zhejiang Province[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(12):3043-3048.
- [9] 何志平, 曾凯, 李正确, 等. 四川规模猪场产排污系数测定[J]. *中国沼气*, 2010, 28(4):10-14.
- HE Zhi-ping, ZENG Kai, LI Zheng-que, et al. Measurement of pollutants producing and discharging coefficient on large scale pig farms in Sichuan[J]. *China Biogas*, 2010, 28(4):10-14.
- [10] 栾冬梅, 李士平, 马君, 等. 规模化奶牛场育成牛和泌乳牛产排污系数的测算[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(16):185-189.
- LUAN Dong-mei, LI Shi-ping, MA Jun, et al. Calculation of pollutants producing and discharging coefficients of heifers and lactating dairy cows in large-scale dairy farms[J]. *Transactions of the CSAE*, 2012, 28(16):185-189.
- [11] 张振伟, 庞伟英, 周玉香, 等. 西北地区育成母牛粪尿中N、P、Cu、Zn产污系数的对比分析[J]. *中国食草动物科学*, 2014, 34(2):68-69.
- ZHANG Zhen-wei, PANG Wei-ying, ZHOU Yu-xiang, et al. Comparative analysis of pollutant-producing coefficients of N, P, Cu and Zn in feces and urine of breeding dairy cows in northwest areas of China[J]. *China Herbivore Science*, 2014, 34(2):68-69.
- [12] 张振伟, 周玉香, 张巧娥, 等. 西北地区成乳牛粪尿中N、P、Cu、Zn产污系数的对比分析[J]. *畜牧与饲料科学*, 2013, 34(12):25-26.
- ZHANG Zhen-wei, ZHOU Yu-xiang, ZHANG Qiao-e, et al. Comparative analysis of pollutant-producing coefficients of N, P, Cu and Zn in feces and urine of adult dairy cows in northwest areas of China[J]. *Animal Husbandry and Feed Science*, 2013, 34(12):25-26.
- [13] ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers). Manure production and characteristics[S]. USA: ASABE, 2003.
- [14] 农文协. 畜产环境对策大事典[M]. 东京: 东京农山渔村文化协会出版社, 1995:98-126.
- The Association of Agricultural Culture. Counter measures chronicle of livestock environment[M]. Tokyo: Tokyo Nounsangyoson Culture Association Press, 1995:98-126.
- [15] Poulsen H D, Kristensen V F. Standard values for farm manure: A revaluation of the danish standard values concerning the nitrogen, phosphorous and potassium content of manure[M]. USA: DIAS Report. No.7. Animal Husbandry, 1998:167.
- [16] 高娅俊, 顾招兵. 规模化猪场猪群结构、猪群组数的一种简单计算方法——以年出栏1万头商品肉猪的规模化猪场为例[J]. *中国畜牧杂志*, 2015, 51(16):65-68.
- GAO Ya-jun, GU Zhao-bing. Simple calculation method of pig group structure, groups of pig population and turnover in intensive pig farm: Example as a large-scale pig farm for 10 000 commercial fattening pigs annually[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2015, 51(16):65-68.
- [17] 韦人. 规模奶牛场合理调整牛群结构的探讨[J]. *中国奶牛*, 2011, 21:42-43.
- WEI Ren. Discussion on rational adjustment of cattle population in large-scale dairy farms[J]. *China Dairy Cattle*, 2011, 21:42-43.
- [18] 付荣谱, 陈联合, 宝音, 等. 如何制订1万羽商品蛋鸡场生产(鸡群)周转计划[J]. *上海畜牧兽医通讯*, 2014, 2:92-93.
- FU Rong-pu, CHEN Lian-he, BAO Yin, et al. How to make a production and turnover plan for a commercial layer farm with 10 000 layers[J]. *Shanghai Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2014, 2:92-93.